

云南彝豆3号蚕豆种植的气候适宜性划分

孙永海^{1*}, 鲁敏^{2#}, 善从锐¹, 杨凤琼², 曾芸¹, 孙继亮¹, 温宪勤³, 周晓波⁴

¹云南省楚雄州农科院, 云南 楚雄

²云南省楚雄州气象局, 云南 楚雄

³云南省种子管理站, 云南 昆明

⁴双柏县农业技术推广服务中心, 云南 楚雄

收稿日期: 2023年2月16日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

摘要

云南蚕豆种植发展潜力大, 为细化气候因子对秋播蚕豆种植的影响, 基于海拔高度, 秋播蚕豆生育期气温、降水、日照、阴雨日数、有霜日数、霜最冷时段气温, 用主成分分析法和作物生长气候适宜度计算, 分别做彝豆3号蚕豆新品种在云南种植的气候适宜性划分。结果表明: 彝豆3号蚕豆种植的最适宜气候区主要分布在云南哀牢山以东、以北的滇中昆明西北部、楚雄、玉溪、曲靖、昭通低海拔地带及向西偏北延伸到大理、丽江和保山、怒江的局部区域, 向东南延伸到文山、红河北部区域, 全生育期平均气温13.3℃, 产量形成期平均气温10.7℃, 最冷时段平均气温9.3℃, 主生育期降水174 mm、日照1208 h; 适宜区主要分布在昆明大部, 大理北部, 丽江西北部, 昭通南部及云南哀牢山西南侧的狭长地带; 次适宜区主要分布在哀牢山以南以西除滇南、滇东南河谷地带以外的广大区域和昭通的河谷地带和大理、丽江、曲靖北部, 迪庆南部和昭通的高海拔地带; 不适宜区主要分布在滇西北的迪庆高寒低温干燥和滇南、滇西南低热河谷的高温、高湿区域。

关键词

彝豆3号蚕豆, 云南, 主成分分析, 生长气候适宜度, 气候适宜性划分

Regionalization of Climate Suitability for Broad Bean Cultivation in Yi-Dou No. 3, Yunnan

Yonghai Sun^{1*}, Min Lu^{2#}, Congrui Shan¹, Fengqiong Yang², Yun Zeng¹, Jiliang Sun¹, Xianqing Wen³, Xiaobo Zhou⁴

¹Chuxiong Academy of Agricultural Sciences in Yunnan, Chuxiong Yunnan

²Chuxiong State Meteorological Bureau, Chuxiong Yunnan

³Yunnan Provincial Seed Management Station, Kunming Yunnan

⁴Shuangbai County Agricultural Technology Extension Service Center, Chuxiong Yunnan

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 孙永海, 鲁敏, 善从锐, 杨凤琼, 曾芸, 孙继亮, 温宪勤, 周晓波. 云南彝豆 3 号蚕豆种植的气候适宜性划分[J]. 自然科学, 2023, 11(2): 269-277. DOI: 10.12677/ojns.2023.112032

Abstract

Yunnan has a great potential for the development of broad bean cultivation. In order to refine the impact of climate factors on autumn sown broad bean cultivation, based on altitude, temperature, precipitation, sunshine, number of rainy days, number of frost days, and temperature in the coldest frost period during the growth period of autumn sown broad bean, the principal component analysis method and the calculation of climate suitability of crop planting were used to classify the climatic suitability of the new broad bean variety Yidou 3 cultivation in Yunnan. The results show that: The most suitable climate zones for Yi-Dou No. 3 broad bean planting are mainly distributed in the northwest of Kunming, Chuxiong, Yuxi, Qujing and Zhaotong in central Yunnan to the east and north of Ailao Mountain, and extend to Dali, Lijiang, Baoshan and Nujiang in the west and north, and extend to Wenshan and the north of Honghe in the southeast. The average temperature of the whole growth period was 13.3°C, the average temperature of the yield formation period was 10.7°C, the average temperature of the coldest period was 9.3°C, the precipitation was 174 mm and the sunshine was 1208 h during the main growth period. The suitable areas are mainly distributed in the north of Ailao Mountain except the valley zone of south Yunnan and southeast Yunnan, the valley zone of Zhaotong, the north of Dali, Lijiang, Qujing, the south of Diqing and the high altitude zone of Zhaotong. The unsuitable areas are mainly distributed in the Diqing cold and low temperature dry area in northwest Yunnan and the high temperature and high humidity area in the low heat valley of south Yunnan and southwest Yunnan.

Keywords

Yi Bean No. 3 Broad Bean, Yunnan, Principal Component Analysis, Climate Suitability of Crop Growth, Zoning of Climate Suitability

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

蚕豆(*Vicia faba* L.), 别名胡豆、佛豆、罗汉豆、大豆等, 属豌豆族、野豌豆属, 属于高蛋白、低脂肪、富淀粉的豆科作物, 可作为粮食、蔬菜、副食、饲料、绿肥兼养地作物种植, 传入我国有 2100 多年[1]。在蚕豆产区, 蚕豆混合大米等可作为营养丰富的主食, 能补充粮食作物中所匮乏的蛋白质和维生素, 鲜蚕豆是中国传统佳肴, 干蚕豆耐贮藏[2] [3]。蚕豆在云南栽培历史悠久, 2019 年云南省蚕豆种植面积 266733.33 hm², 占全国 32.5%, 面积和总产量均居全国第一位[4] [5]。彝豆 3 号蚕豆是楚雄州农科院以天杂 30 为母本, 大姚白花豆为父本杂交后, 经系谱单株选育而成的粮菜兼用型秋播中早熟型蚕豆新品种, 该品种具有商品性好、品质优良、高抗病性和高产优势, 全生育期约 180 d, 鲜食青菜生育期约 110 d; 花历期长, 株高约 114 cm, 平均单株有效枝 2.7 个, 单株平均实荚 12.2 荚, 单荚粒数 1.85 粒, 鲜荚长 9.2 cm 宽 2.2 cm; 鲜籽粒浅绿色, 百粒重 321.8 g 左右; 干籽粒白皮、白脐, 种皮破裂率为零, 百粒重约 143 g, 每 667 m² 产鲜荚 1000~1300 kg (干籽粒 200~260 kg) [6], 2016 年 12 月通过云南省农作物品种审定委员会审定, 审定编号: 滇审蚕豆 2016007 号, 2018 年通过国家农业农村部非主要农作物品种登记, 适宜在云南省海拔 1400~2200 m 的蚕豆种植区种植[4] [5], 2016~2021 年在云南省大理州、保山市、曲靖市

等地累计推广种植面积达 228,000 hm²。随着人们对蚕豆鲜食食用性和保健作用认知的提升, 彝豆 3 号在云南的广大山区、半山区推广种植潜力巨大, 而气候影响是绕不开的制约因素。云南冬春温暖, 滇中及以南的大部地区播蚕豆全生育期内光照充足, 热量和降水适中, 是传统的秋播蚕豆种植最适宜气候区[1][5], 低温霜冻, 局部干旱是影响秋播蚕豆产量和质量波动的主要气象灾害, 极端气候影响、特别是关键生育期间的气温和降雨量及其分布是影响云南秋播蚕豆种植和产量、质量形成的主要因子[6][7], 而迄今用于指导云南蚕豆种植适宜性的指导性区划多限于对海拔高度影响的经验认知, 涉及多气候因子对秋播蚕豆种植气候适宜性综合影响的区划研究尚未见报道。鉴于此, 本研究项目以彝豆 3 号新品种在云南推广实验种植结论指标为依据, 采用不同生育期间的气温、降雨量、降雨日数、霜日数、日照时数等气候影响因子与蚕豆种植的气候指标作相关性(主成分)分析和主生长期热量的气候适宜度计算为依据, 客观划分云南秋播蚕豆种植的气候适宜性分区, 为云南秋播蚕豆生产提供理论支撑。

2. 研究区概况

云南省地处中国西南边陲低纬高原地带, 介于北纬 21°8'32"~29°15'8", 东经 97°31'39"~106°11'47"之间, 面积 39.4 万 km², 高原山地面积占 94%, 宽谷盆地仅占 6%, 东西部地貌形态差异极大, 西部山川纵横, 山谷相间, 东部波状的山原又称滇中高原或云南高原, 哀牢山呈西北-东南走向横亘于云南中部, 成就了东西两侧明显的气候分界线[8]。受季风气候和地理因子的影响, 云南气候干湿分明、雨热同季、立体性强, 气温年较差小、日较差大, 降水主要集中于雨季, 冬春季温暖少雨、光照充足, 以干旱、寒潮、低温霜冻为主的极端天气气候事件和气象灾害频繁发生。受自然和经济的限制, 云南绝大部分山区、半山区水利基础设施建设滞后, 水利条件尚不能满足冬春农业生产用水的基本需求, 秋播蚕豆全生育期间主要以雨养农业为主, 广大山区、半山区除自然降水外, 基本无水利灌溉条件, 冬春干旱、强寒潮(低温、霜冻)、降雪天气是造成秋播蚕豆产量和质量波动的主要气象灾害[1][2]。

3. 材料和方法

3.1. 研究试验资料来源

气候资料来源于云南省 125 个县气象站多年各旬、月的平均降雨量、降雨日数, 霜日数, 气温和日照时数的统计及自主研发的楚雄州气候资源管理、咨询与评价系统查询。

3.2. 种植气候生态因子的选取

因受季风气候、地理的影响, 云南绝大多数蚕豆种植区一般在 10 月 10 日左右播种, 11 月中下旬现蕾, 11 月下旬至 12 月下旬始花至开花, 12 月至次年 2 月上旬开花至末花, 2 月中下至 3 月下旬成熟, 全生育期 180~200 d 左右[4]。蚕豆生育期间的气温、降雨日数、降水量和日照时数的时间、空间分布是影响云南蚕豆生长发育的关键, 是蚕豆产量形成的决定性因子[4][5]。本试验中, 选取了与云南彝豆 3 号蚕豆生长适应性关系密切的 11 个气候因子作为区划指标(见表 1)。全生育期、产量形成期和最冷时段气温, 主生育期有霜日数, 海拔高度, 全生育期日照时数, 决定着蚕豆从出苗到成熟各生育阶段的热量供给及光合效应; 全生育期降水量、蒸发量、绝对湿度, 产量形成期降雨日数, 主生育期降水量, 决定着蚕豆从出苗到成熟各生育阶段的水分供给。其中最冷时段和产量形成期气温影响着蚕豆花荚有效成果率, 是产量形成的关键, 全生育期降水量, 主生育期降水量、降水日数, 决定蚕豆苗期和中后期的水分供给的差别及蚕豆各生育期供给, 是蚕豆有效出苗数和产量形成的重要影响因子[5][8]。冬春日照条件是云南蚕豆种植的气候优势, 2、3、4 月的日照时数是蚕豆生长发育的必要条件, 受季风槽和昆明静止锋天气影响, 滇西北和滇东北冬春阴天日数多, 日照少是推广蚕豆种植的阻碍因素。

Table 1. Climatic influencing factors and code name of Yi bean No. 3 broad bean during its growth period
表 1. 彝豆 3 号蚕豆主生育期气候影响因子及代号

指标	因子描述及代号
Index	Factor description and code
生育期气温	产量形成期 11 月~次年 2 月平均气温 X_3 、最冷时段 12 月~次年 1 月平均气温 X_6 、全生育期 10 月~次年 4 月平均气温 X_7
降水与湿度	产量形成期 11 月~次年 2 月降雨日数 X_2 、全生育期 10 月~次年 4 月蒸发量 X_4 、全生育期 10 月~次年 4 月合计降水量 X_5 、主生育期 11 月~次年 4 月降水量 X_{11} 、全生育期 10 月~次年 4 月平均绝对湿度 X_9 、主生长期 11 月~次年 4 月有霜日数 X_8
日照时数和霜日	全生育期 10 月~次年 4 月合计日照时数 X_{10}
海拔高度	海拔高度 X_1

3.3. 区划方法和原理

3.3.1. 基于地理气候因子影响的主成分分析

利用气候统计学中的主成分分析和作物生育期气候适宜度计算分析法[8] [9]，利用 SPSS 软件以云南省彝豆 3 号蚕豆生长时段的综合气候评价指数为研究对象，入选因子中前 m 个主成分组成的矩阵 Y_{mn} 反映了“集中”原矩阵 X_{pn} 中的因子信息[10] [11]。对矩阵 $X_{11 \times 125}$ 进行主成分分析，用方差最大法进行正交旋转，使成分负载向 0 和 1 两极分化。计算主成分分值采用回归法。方法步骤是：第一，对原始数据进行标准化处理，以消除量纲不同的影响(得到标准变量)；第二，将云南 125 站的 11 个气候影响因子的标准变量组成一个 $P = 11$ 、 $N = 125$ 的矩阵 X_{pn} ，求标准变量的相关矩阵 R ；第三，求相关矩阵 R 的多个特征值、特征向量及相应主成分对方差的贡献率；第四，根据贡献率确定主成分指标因子的个数(表 2)；第五，针对每个主成分指标因子与标准变量线性组合关系的表达式，以权重较大的多个标准变量(对应表 1 中的影响因子)来综合解释主成分指标因子的物理意义[12]，见表 3；计算了全部代表点的各个主成分因子值和综合得分值(即综合气候评价指数值) Z [11] [12]后，建立 Z 值与地理纬度、经度和海拔高度之间的线性关系，最后区划成果，在 arcgis 平台上对 Y 值做 IDW (Inverse distance weighted)插值，输出分析结果图(见图 1)。 Z 、 Y 值计算表达式如下式：(其中 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 分别为矩阵 R 的前 3 个主成分)

$$Y = 2466.944951 - 16.09883188\lambda - 20.3396162\delta - 0.126101734\beta; \tag{1}$$

$$Z = 0.49857Z_1 + 0.30151Z_2 + 0.12159Z_3; \tag{2}$$

$$Z_1 = -0.39158x_1 - 0.0982x_2 + 0.409942x_3 + \dots - 0.0316x_{10} + 0.063199x_{11}; \tag{3}$$

$$Z_2 = 0.137816x_1 - 0.49746x_2 + 0.129582x_3 + \dots + 0.518871x_{10} - 0.13837x_{11}; \tag{4}$$

$$Z_3 = -0.0467x_1 + 0.121942x_2 + 0.104645x_3 + \dots - 0.06659x_{10} + 0.814677x_{11}。 \tag{5}$$

Table 2. X_{pn} covariance matrix eigenvalue and variance and variance contribution rate
表 2. X_{pn} 协方差矩阵特征值及方差和方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率(%)	累计方差贡献率(%)
Principal component	eigenvalue	Contribution rate of variance	Contribution rate of cum-variance
1	5.484	49.857	49.857
2	3.317	30.151	80.008
3	1.337	12.159	92.167

表 2 中的荷载率绝对值的大小表达了各原始因子变量与主成分因子的相关程度, 荷载率绝对值越大的原始因子, 与其主成分的相关性越好, 越能显现出该原始因子对主成分的影响效应。一般当 $|\text{荷载率}| \geq 0.6$ 时, 认为该气候因子与主成分的相关程度足够大[9] [12]。在主成分 $Y_{20 \times 125}$ 中的前 3 个特征向量的累积方差已达 92.167%, 即使用前 3 个主成分因子就可以解释 125 站 12 个气候因子变量的总方差, 故只需计算 3 个主成分因子的得分值。

Table 3. Eigen vectors of the correlation matrix
表 3. 样本相关矩阵的特征向量(V_{mp} 矩阵)

气候因子	主成分			气候因子	主成分		
因子	1	2	3	因子	1	2	3
Climate factor	principal			Climate factor	principal		
Factor	Factor1	Factor2	Factor3	Factor	Factor1	Factor2	Factor3
X_1	-0.917	0.251	-0.054	X_7	0.967	0.228	0.073
X_2	-0.023	-0.906	0.141	X_8	-0.821	0.400	-0.050
X_3	0.960	0.236	0.121	X_9	0.909	-0.137	0.261
X_4	0.115	0.817	-0.351	X_{10}	-0.074	0.945	-0.077
X_5	0.210	-0.172	0.955	X_{11}	0.148	-0.252	0.942
X_6	0.951	0.253	0.144				

表 3 中第 1 主成分表达式中荷载率较大的气候因子变量依次是 $X_7, X_3, X_6, X_1, X_9, X_8$ 共 6 个影响因子, 它们反映了云南彝豆 3 号蚕豆全生育期的热量条件, 其中 X_7, X_3, X_6 分别代表全生育期气温、最冷时段气温和产量形成期气温, X_7 代表海拔高度与热的关系, X_9, X_8 分别代表蚕豆生育期湿度和霜日数变化与热量的关系, 因子荷载率为正, 说明该影响因子对彝豆 3 号蚕豆生长发育的影响呈正相关, 因子荷载率为负, 说明该影响因子对彝豆 3 号蚕豆生长发育的影响呈负相关, 分析结论验证了在云南除低热河谷地带外, 热量是彝豆 3 号蚕豆种植适宜性判定的第一影响因子, 与云南蚕豆种植实践高度吻合; 第 2 主成分中荷载率较大的影响因子依次是 X_{10} 和 X_2 共 2 个影响因子, 分别反映发云南彝豆 3 号蚕豆全生育期光、日照和降雨日数影响效应, 日照时数影响因子的荷载率为正, 日照时间长说明在云南彝豆 3 号蚕豆全生育期光照充足, 降雨日数因子荷载率为负, 说明雨日多光照条件差与云南彝豆 3 号蚕豆生长发育呈负相关, 蚕豆生育期间降雨日数多, 有利于蚕豆锈病等多发生, 不利于蚕豆生长和产量质量形成, 与云南彝豆 3 号蚕豆生长发育对气候环境条件的要求和云南种植实验区试验结论一致[6] [7]。第 3 个主成分中荷载率较大的影响因子依次是 X_5 和 X_{11} 这 2 个因子分别代表云南彝豆 3 号蚕豆全生育期间和主要生育期间的降水合计量, 两个影响因子的荷载率均为正, 说明这两个影响因子对云南彝豆 3 号蚕豆生长发育和产量质量形成呈正贡献, 即在云南省, 彝豆 3 号蚕豆生长发育和产量、质量形成与全生育期降水量的多少呈正相关, 结论与季风气候影响下的云南冬春干旱少雨, 冬春作物种植发展潜力受制于冬春降水量, 与云南彝豆 3 号蚕豆种植实验成果结论和蚕豆种植生产经验相吻合[6] [7]。

3.3.2. 基于热量因子影响的生长适宜度计算分析

热量是作物生长的基本条件, 作物生长的气候适宜度计算已被广泛应用于作物种植的精细化气候区划中[9] [11]。采用 Beta 函数计算温度适宜度, 能反映作物生长与温度的关系, 公式如下[13] [14]:

$$F(t) = \frac{(t-t_l)(t_h-t)^B}{(t_0-t_l)(t_h-t_0)^B}; \quad (6)$$

$$B = \frac{(t_h-t_0)}{(t_0-t_l)} \quad (7)$$

式(6)中 $F(t)$ 为蚕豆产量形成关键期温度适宜度, t 、 t_l 、 t_h 、 t_0 分别为蚕豆产量形成关键期平均温度、下限温度、上限温度和适宜温度(单位: $^{\circ}\text{C}$)。

根据 2015、2016 年彝豆 3 号新品牌种在云南楚雄、保山、大理、曲靖四地推广种植实验结论, 结合云南优质蚕豆传统种植区实验指标[1][4][13], 计算了云南 126 个县彝豆 3 号蚕豆新品种产量、质量形成关键生育期(2~3 月)热量生长适宜度进行区划。

Table 4. Temperature of Yi bean No. 3 broad bean new variety in the experimental area from 2015 to 2016 (Unit: $^{\circ}\text{C}$)

表 4. 彝豆 3 号蚕豆新品种 2015~2016 年实验区气温(单位: $^{\circ}\text{C}$)

时间 time	保山			大理			楚雄			曲靖		
	平均 T-aver	最高 T-max	最低 T-min									
2015	14.1	21.8	7.4	13.5	20.5	6.9	15.2	21.8	9.3	14.1	21.4	9.0
2016	14.3	20.6	9.0	13.0	18.9	8.1	13.9	20.0	9.1	10.4	17.1	6.3
平均	14.2	21.2	8.2	13.3	19.7	7.5	14.6	20.9	9.2	12.3	19.3	7.7

4. 区划结果分析

4.1. 基于综合气候因子影响的主成分分区

根据主成分分析回归合成因子综合计算得分 Z 值, 再将 Z 值与经度、纬度和海拔高度建立回归关系计算, 得出计算值 Y , 将 Y 值在 *arcgis* 平台上进行 IDW 插值, 得出南省 125 个县市彝豆 3 号蚕豆品种种植的综合气候适宜性分区, 并参考云南两蚕豆传统种植区生态气候特征及彝豆 3 号新品种实验区生态气候条件[4][8][13], 最终划分为 7 个类型种植气候区, 图 1(a)。

最适宜区: 江川, 丘北, 玉溪, 永仁, 宜良, 禄丰, 砚山, 个旧, 东川, 永善, 西畴, 华宁, 巍山, 彝良, 贡山, 易门, 弥渡, 广南; 全生育期平均气温 13.3°C , 产量形成期平均气温 10.7°C , 最冷时段平均气温 9.3°C , 主生育期降水 174 mm、日照 1208 h。该区是云南优质秋播蚕豆传统种植区。

温凉适宜区: 昆明, 洱源, 呈贡, 大姚, 晋宁, 禄劝, 祥云, 大理, 姚安, 安宁, 牟定, 武定, 双柏, 泸西, 南华, 大关, 富民, 楚雄, 石林, 澄江, 通海, 罗平; 全生育期平均气温 12.3°C , 产量形成期平均气温 9.7°C , 最冷时段平均气温 8.4°C , 主生育期降水 122 mm、日照 1385 h。该区是云南秋播蚕豆传统种植区, 主生育期降水 122 mm、日照 1385 h。

温暖适宜区: 弥勒, 峨山, 云龙, 漾濞, 绿春, 华坪, 永平, 宾川, 马关, 保山, 新平, 文山, 昌宁, 盐津, 屏边, 石屏, 南涧, 腾冲, 蒙自, 巧家, 绥江, 凤庆; 全生育期平均气温 14.2°C , 产量形成期平均气温 11.7°C , 最冷时段平均气温 10.3°C , 主生育期降水 171 mm、日照 1297 h。该区是云南秋播蚕豆传统种植区。

冷次适宜区: 宣威, 鲁甸, 宁蒗, 丽江, 镇雄, 太华山, 维西, 马龙, 曲靖, 兰坪, 鹤庆, 永胜, 富源, 沾益, 嵩明, 寻甸, 陆良, 威信, 师宗; 全生育期平均气温 10.0°C , 产量形成期平均气温 7.4°C ,

最冷时段平均气温 6.1℃，主生育期降水 140 mm、日照 1228 h。该区局部低海拔地带是云南秋播蚕豆传统种植区。

热次适宜区：元谋，建水，永德，麻栗坡，临沧，施甸，金平，福贡，龙陵，墨江，开远，富宁，景东，云县，镇沅，红河，思茅，江城，沧源，泸水，宁洱，耿马，双江，梁河；全生育期平均气温 16.0℃，产量形成期平均气温 13.6℃，最冷时段平均气温 12.3℃，主生育期降水 221 mm、日照 1323 h。该区局部高海拔地带是云南秋播蚕豆传统种植区。

冷不适宜区：德钦，香格里拉，剑川，昭通，会泽；全生育期平均气温 6.0℃，产量形成期平均气温 3.5℃，最冷时段平均气温 2.2℃，主生育期降水 110 mm、日照 1323 h。该区寒冷是云南秋播蚕豆非传统种植区。

热不适宜区：景谷，镇康，勐海，西盟，潞西，澜沧，陇川，盈江，孟连，元江，瑞丽，元阳，勐腊，景洪，河口；全生育期平均气温 18.2℃，产量形成期平均气温 15.8℃，最冷时段平均气温 14.5℃，主生育期降水 201 mm、日照 1351 h。该区气候炎热是云南秋播蚕豆非传统种植区。

4.2. 基于热量因子影响的作物生长气候适宜度分区

Beta 函数，基于热量因素计算彝豆 3 号蚕豆生长适宜度 F ，将计算值 F 在 arcgis 平台上进行 IDW 插值，得出南省 125 个县市彝豆 3 号蚕豆品种种植的综合气候适宜性分区，并参考云南两蚕豆传统种植区生态气候特征及彝豆 3 号新品种实验区生态气候条件[5] [8] [13]，最终划分为 4 个类型种植气候区，图 1(b)。

最适宜区：该区主要分布在云南省的滇中及周边 1550~1700 m 及滇中以南的部分中低海拔地带和滇北河谷地带，域内各生育期温差和蒸发量差为云南全省最小，全生育期平均气温差 1.5℃，产量形成期平均气温差 1.7℃，最冷时段平均气温差 1.8℃，主生育期降水 168 mm、日照 1335 h 是云南传统的优质秋播蚕豆种植区。

适宜区：该区主要沿哀牢山南北两侧分布，海拔约 1700~1900 m，域内各生育期温差和蒸发量差小，全生育期平均气温差 3.9℃，产量形成期平均气温差 4.1℃，最冷时段平均气温差 4.2℃，主生育期降水 147 mm、日照 1289 h 大部为云南传统的秋播蚕豆种植区。

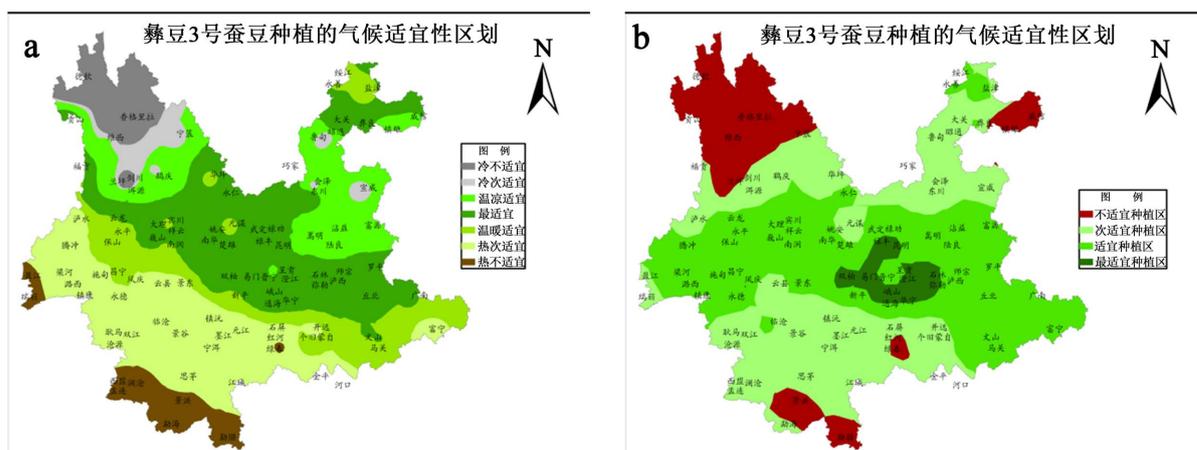


Figure 1. (a) Climatic suitability zoning for planting Yidou No. 3 based on principal; (b) the growth suitability based on thermal factors component analysis of integrated geographical and meteorological factors climatic suitability zoning of Yidou 3 Planting

图 1. (a) 综合地理气象因子的主成分彝豆 3 号种植气候适宜性分区；(b) 基于热量因子的生长适宜度彝豆 3 号种植气候适宜性区划

次适宜区：该区主要分布在滇以南及以北的中低海拔和中高海拔地带，域内各生育期温差和蒸发量差较大，全生育期平均气温差 7.7℃，产量形成期平均气温差 8.1℃，最冷时段平均气温差 8.2℃，主生育期降水 189 mm、日照 1331 h 局部为云南传统的秋播蚕豆种植区。

不适宜区：该区主要分布在滇西高原高寒和滇南及滇东北局部低热河谷地带，域内各生育期温差和蒸发量差和海拔高差为云南最大，全生育期平均气温差 19.7℃，主生育期降水 159 mm、日照 1227 h，产量形成期平均气温差 19.7℃，最冷时段平均气温差 19.8℃，是云南省非秋播蚕豆传统种植区。

5. 结论与讨论

1) 按综合地理气象因子的主成分分区区划结论，图 1(a) 彝豆 3 号蚕豆种植的最适宜气候区主要分布在云南哀牢山以东以北的滇中昆明西北部、楚雄、玉溪、曲靖、昭通低海拔地带及向西偏北延伸到大理、丽江和保山、怒江的局部区域，向东南延伸到文山、红河北部区域；适宜区主要分布在昆明大部，大理北部，丽江西北部，昭通南部以及哀牢山西南侧的狭长地带；次适宜区主要分布在哀牢山以南以西除滇南、滇东南河谷地带以外的广大区域和昭通的河谷地带和大理、丽江、曲靖北部，迪庆南部和昭通的高海拔地带；不适宜区主要分布在滇西北的迪庆高寒和滇南、滇西南的低热河谷区域。

2) 按产量形成期作物生长的热量适宜度分区区划结论，图 1(b) 彝豆 3 号蚕豆种植的最适宜气候区分布在滇中的昆明和楚雄及附近地带；适宜区分布哀牢山两侧及附近及其向西、向东延伸的较宽区域和昭通的低海拔河谷地带；次适宜区分布在哀牢山以南除低热河谷外的广大区域和滇中以北的高海拔地带；不适宜区分布在滇南的低河谷和滇西北的高寒地带。

3) 综合地理气象因子的主成分分区法客观计算分析了云南省 125 个县秋播彝豆 3 号蚕豆新品种主要生育期各气象因子影响贡献及综合影响，构建了与地理纬度、经度、海拔高度之间的线性关系空间插值，分区结论与云南秋播蚕豆传统种植区基本吻合，更接近实验及客观结果，为秋播彝豆 3 号蚕豆新品种在云南推广种植提供了理论支撑；基于热量因子影响的作物生长气候适宜度分区法，探索了热量单因子影响的云南秋播蚕豆生长的气候适宜性，区划试验算法简单、实用，理论可行，分区结论得出最适宜种植气候区划面积过小，与实际及实验结论差异较大，其它几类划分与云南秋播蚕豆传统种植区大致吻合，同时也验证了云南受地理和季风影响，气候呈垂直地带性分布显著，冬春降水的空间差异小，气候条件对作物生长的影响主要以热量影响为主的气候影响特征。

4) 本区划试验以云南省 125 个县级气象站的气象观测记录做彝豆 3 号蚕豆新品种秋播种植的气候适宜区划，因气象要素观测数据的空间分布密程度较小，在一定程度上尚未达到对云南复杂地形的全覆盖，应用实践中区划结果还有待进一步细化[15][16]。

基金项目

云南省院士专家工作站；项目编号：202105AF150008；云南省气象局基层台站气象科技创新与能力提升计划项目(STIAP)；项目编号：STIAP202222。

参考文献

- [1] 叶茵. 中国蚕豆学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [2] 崔鸿宾. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 269-270.
- [3] 西南农业大学. 作物育种学(各论)[M]. 北京: 农业出版社, 326.
- [4] 吕梅媛, 王丽萍, 何玉华, 等. 云南优质食用豆类品种及配套技术[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2020.
- [5] 陈红霖, 田静, 朱振东, 张耀文, 陈巧敏, 周素梅, 王丽侠, 刘玉皎, 何玉华, 尹凤祥, 魏淑红, 程须珍. 中国食用豆产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 493-503.

-
- [6] 孙永海, 善从锐, 等. 高产优质高抗锈病蚕豆新品种“彝豆 1 号”的选育与应用[J]. 中国科技成果, 2018(2): 49-51.
- [7] 怀燕, 宋度林, 姚学良, 张慧. 不同品种与播期配置对春化栽培鲜食蚕豆的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(31): 39-42.
- [8] 王宇. 云南山地气候[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 106-112.
- [10] 李超, 李文峰, 赵耀, 等. 基于 GIS 的云南山区玉米生态适宜性评价方法与应用[J]. 中国农业科学, 2019, 52(3): 445-454.
- [11] 鲁永新, 田侯明, 李宏波, 等. 元谋县干热气候评价及特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(9): 103-113.
- [12] 鲁永新, 田侯明, 杨海抒, 等. 云南省野生食用菌气候生境特征与评价[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 748-757.
- [13] 朱婷艳, 武英娇, 李文琛, 等. 宁夏番茄气候适宜度变化特征分析[J]. 农学学报, 2022, 12(4): 67-74.
- [14] 李凯伟, 张继权, 魏思成, 等. 东北春大豆精细化气候区划[J]. 应用气象学报, 2021, 32(4): 408-420.
- [15] 周瑶, 姚梦楠, 缪亚梅, 金建华, 顾春燕, 赵娜, 汪凯华, 王学军. 中国鲜食蚕豆产业发展研究[J]. 农学学报, 2022, 12(2): 80-84.
- [16] 杨勇, 周斌, 欧阳裕元, 张丽亚. 秋播蚕豆产量构成因子的初步分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(27): 104-107.